

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НТВ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО КОТЛА ПГУ–ВЦГ

### Аннотация

*В работе было рассмотрено использование низкотемпературной вихревой технологии, для её применения в схеме воздушного котла. Воздушный котел является одним из ключевых элементов в схеме гибридной ПГУ–ВЦГ с внешним сжиганием топлива на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива. После анализа была выбрана схема воздушного котла.*

**Ключевые слова:** ПГУ–ВЦГ, воздушный котел, низкая температура, вихревая топка, рециркуляция дымовых газов.

### Abstract

*The article considered the use of low-temperature swirling-type technology, for its application in the air-boiler design. The air boiler is one of the key elements in the scheme of hybrid integrated gasification combined cycle with external fuel combustion based on processes of coal heat treatment and "external" combustion of fuel. The scheme of the air boiler was chosen after analysis.*

**Key words:** IGCC, air boiler, low temperature, swirling-type furnace, flue gas recirculation.

В настоящее время растет интерес использования твердых топлив в энергетике. ПГУ на твердом топливе является одним из перспективных направлений использования природных ресурсов в виде угля.

На базе Уральского энергетического института (УралЭНИИ) УрФУ выполняются исследования гибридной ПГУ–ВЦГ с внешним сжиганием твердых топлив [1]. Одним из основных элементов в схеме гибридной ПГУ–ВЦГ с внешним сжиганием топлива на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива является воздушный котел (ВК). Сжатый воздух нагревается в ВК до 750–900 °С, а затем направляется в камеру сгорания.

Компримированный воздух до температуры 900 °С можно нагревать в конвективных поверхностях воздушного котла, поэтому было решено отказаться от радиационных поверхностей нагрева. В связи с этим возникает вопрос: как обеспечить необходимую температура продуктов сгорания (~950 °С) на входе в конвективную шахту?

Для поддержания относительно низкой температуры в топке предлагается использовать низкотемпературную вихревую топку, которая является современной эффективной технологией использования твердого органического топлива. Перспективность НТВ-технологии объясняется тем, что в энергетической стратегии России на период до 2035 года она рекомендуется для внедрения [2].

В России в 1970-х г.г. была разработана низкотемпературная вихревая (НТВ) технология сжигания. С 1970 по 1990 годы НТВ-технология сжигания прошла широкую апробацию в энергетике.

Характерной чертой данной технологии является принцип факельного сжигания топлива угрубленного помола в условиях многократной циркуляции частиц в зоне активного горения. За счёт низкотемпературного вихря снижаются выбросы  $\text{NO}_x$ , что дает дополнительные экологические преимущества. Также преимуществами данной технологии являются стабильное воспламенение низкосортных топлив, работы в большом диапазоне колебаний характеристик топлива, безшлаковачная работа поверхностей нагрева.

Низкая чувствительность к изменениям характеристик топлива является сильной стороной НТВ-технологии. Это позволяет сжигать несколько видов твердого топлива и унифицирует топку по топливу.

В настоящее время разработаны новые технологические схемы и конструкции горелочно-сопловых устройств вихревых топков для повышения эффективности НТВ-технологии сжигания [3, 4].

Схема НТВ-топки полуоткрытого типа представлена на рисунке 1. Вихревая топка содержит камеру сгорания, включающую стенки, переходящие в нижней части в воронку, по меньшей мере, одну горелку, вмонтированную в стенку, и установленное в нижней части воронки сопловое устройство для подачи воздуха в топку, содержащее два сопла, одно из сопел направлено на внутреннюю поверхность воронки, расположенную со стороны горелки под углом  $65^\circ \geq \alpha \geq 1^\circ$ , а второе сопло ориентировано так, что угол между продольными осями обоих сопел составляет  $75^\circ \geq \beta \geq 1^\circ$  в плоскости, перпендикулярной внутренней поверхности воронки со стороны горелки. По меньшей мере, одно сопло может быть выполнено секционным. Сопла могут быть снабжены регуляторами расхода. Изобретение позволяет уменьшить эрозионные воздействия на стенку камеры сгорания, а также выравнивать температурное поле в камере сгорания [3].

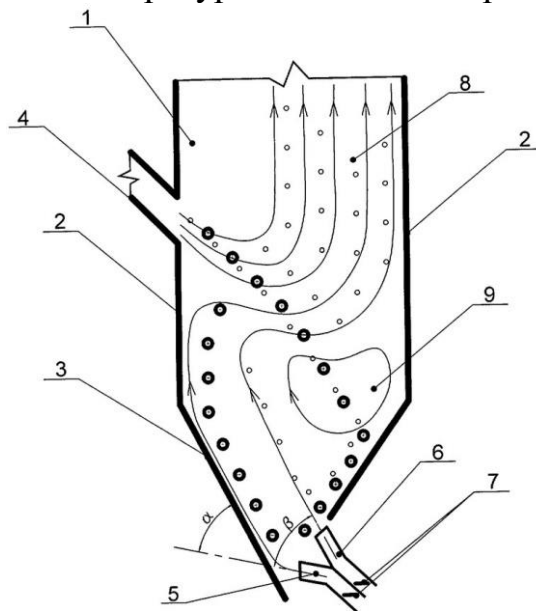


Рис. 1. Схема НТВ-топки полуоткрытого типа [3]:

1 – камера сгорания; 2 – стенки; 3 – воронка; 4 – пылеугольная горелка; 5, 6 – сопла; 7 – регулятор расхода; 8 – факел; 9 – вихревая зона горения

В 2004 г. в рамках Программы технического перевооружения и реконструкции электростанций ОАО «Тулэнерго» реализован проект перевода котла БКЗ–220–9,8 Новомосковской ГРЭС на НТВ-сжигание высокозольного, сильношлакующего подмосковного бурого угля, с обеспечением возможности работы на природном газе [5]. В процессе модернизации топка была заменена на газоплотную полуоткрытого типа, также был организован пережим фронтального экрана (доля пережима – 0,4) с установкой на нижней образующей под углом  $45^\circ$  к горизонтали 8 прямооточных пылеугольных горелок, с двухсопловой системой нижнего дутья, с двумя ярусами третичного дутья на тыльной стене топки. После модернизации получилось отказаться от подсветки факела резервным топливом и поднять максимальную бесшлаковочную мощность котла, а также значительно улучшились показатели котла по вредным выбросам.

В 2006 г. был реализован пилотный проект модернизации котла БКЗ–85–1,3 Южной тепловой станции в г. Рубцовске [6]. При модернизации в топке (доля пережима – 0,36) было установлено 3 прямооточные горелки, двухсопловая система нижнего дутья, два яруса третичного дутья

В 2008 г. на Кировской ТЭЦ–4 реализовали проект модернизации котла БКЗ–210–13,8 для раздельного НТВ-сжигания кузнецких каменных углей (марок Г и Д), фрезерного торфа и природного газа в одной топке [7]. Топку предполагалось сделать газоплотной полуоткрытого типа (доля пережима – 0,4), оборудовать её 6 прямооточными пылевыми горелками (на фронтальном выступе под углом  $45^\circ$  к горизонтали), двухсопловой системой нижнего дутья, тремя ярусами третичного дутья, расположенными на тыльной стене топки. После модернизации при работе на торфе температура факела в зоне активного горения находилась в пределах  $1000 \dots 1100^\circ\text{C}$ , при работе на каменном угле –  $1200 \dots 1300^\circ\text{C}$ .

В 2011 г. была выбрана низкотемпературная вихревая технология сжигания для повышения бесшлаковочной нагрузки котла энергоблока № 7 Назаровской ГРЭС [8].

Котел оборудовали НТВ-топкой полуоткрытого типа с газоплотным исполнением нижняя радиационная часть и твердым шлакоудалением. В частности, вихревую зону сверху ограничили выступом (доля пережима – 0,33), установив на нижней образующей 12 прямооточных пылевых горелок под углом  $45^\circ$  к горизонтали. В устье топочной воронки установлена двухсопловая система нижнего дутья. Также было установлено на тыльной стене топки два яруса третичного дутья (газы рециркуляции), 10 внутритопочных ширм Г-образной формы в вихревой зоне перпендикулярно задней стенке топки для снижения температуры факела. Для улучшения аэродинамики на выходе из топки предусмотрели выступ тыльного экрана

На первом этапе пуско-наладочных работ максимальная температура в зоне активного горения составила  $1290^\circ\text{C}$ , а на выходе из топки –  $1250^\circ\text{C}$ . На втором этапе было принято решение ввести подачу газов рециркуляции (с коэффициентом рециркуляции до 0,15) через нижний ярус третичного дутья для обеспечения интенсификации тепло- и массообменных процессов и снижения температуры в вихревой зоне активного горения. После ввода газов рециркуляции температура

в зоне активного горения составила 1190 °С, а температура на выходе из топочной камеры 1100 °С.

В [9] обоснована эффективность использования только конвективных поверхностей нагрева в воздушном котле (без радиационных поверхностей нагрева), однако на данный момент нет опыты использования топок с НТВ-технологией и без радиационных поверхностей нагрева. Введение газов рециркуляции помогло снизить температуры в зоне активного горения на Назаровской ГРЭС, поэтому есть вероятность, что удастся сделать топку воздушного котла с НТВ-технологией без поверхностей нагрева, а поддержание нужной температуры 1100 °С будет обеспечиваться за счет рециркуляции газов.

Мы предлагаем использовать для ВК схему, представленную на рисунке 2, в которой отсутствуют поверхности нагрева в топке. В данной схеме сжигание топлива осуществляется в топке с низкотемпературным вихрем, поддержание низкой температуры при сжигании предлагается осуществлять за счет газового охлаждения (рециркуляцией продуктов сгорания с выхода конвективной шахты котла в вихревую и прямоточную зоны горения). В топке организуется выступ для улучшения аэродинамики (доля пережима – 0,33), устанавливается на нижней образующей 12 прямоточных пылевых горелок под углом 45° к горизонтали, двухсопловая система нижнего дутья, на тыльной стене два яруса третичного дутья.

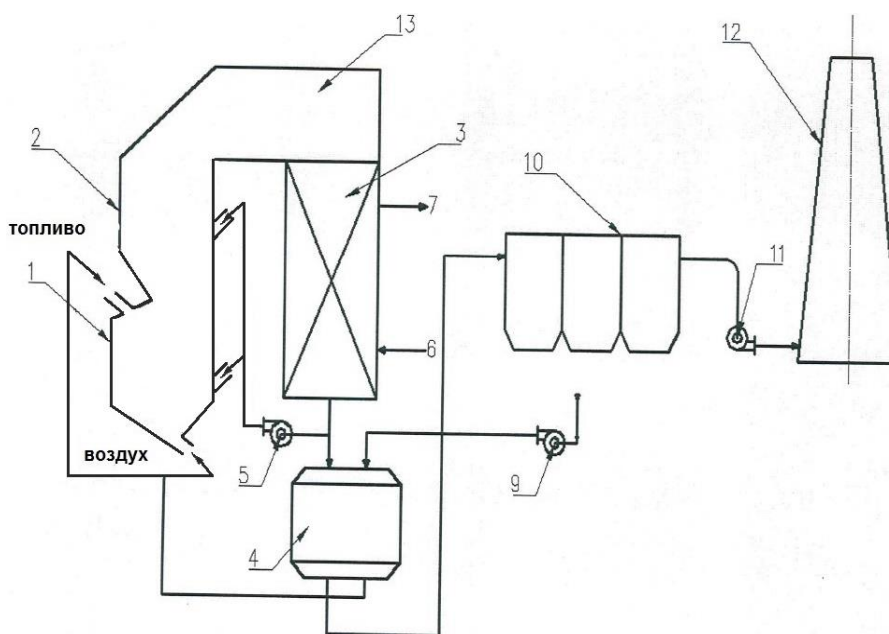


Рис. 2. Схема котельной установки с конвективной секцией нагрева компримированного воздуха: 1 – вихревая зона горения;

2 – прямоточная зона горения; 3 – конвективный воздухоподогреватель;

4 – регенеративный воздухоподогреватель; 5 – дымосос рециркуляции газов;

6, 7 – вход и выход компримированного воздуха; 8 – подвод твердого топлива;

9 – дутьевой вентилятор; 10 – система очистки дымовых газов; 11 – дымосос;

12 – дымовая труба; 13 – поворотная камера

Твердое топливо поступает в вихревую зону горения топки 1, а затем и в прямоточную 2. Далее продукты сгорания проходят поворотную камеру 13 и попадают в опускной газоход, где в конвективном воздухонагревателе 3 передают теплоту цикловому воздуху (схема противотока). За конвективным воздухонагревателем осуществляется забор продуктов сгорания на рециркуляцию, для поддержания низкой температуры в топке. Рециркуляция производится дымососом рециркуляции газов 5 в вихревую и прямоточную зоны горения топки. После конвективного воздухонагревателя продукты сгорания поступают регенеративный воздухоподогреватель 4, проходят систему очистки 10 и дымососом 11 сбрасываются в дымовую трубу 12.

В результате выбрана оптимальная схема топки воздушного котла, поэтому её моделирование ставится следующей задачей.

### **Список использованных источников**

1. Богатова Т.Ф., Рыжков А.Ф., Вальцев Н.В., Осипов П.В., Гордеев С.И. Гибридные ПГУ на твёрдом топливе // Энергетик. 2014. №12. С. 12–16.
2. Проект Энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017). URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 30.03.2017).
3. Патент 2253799 России. Вихревая топка / К.А. Григорьев, В.Е. Скудицкий, Ю.А. Рундыгин [и др.]. – Оpubл. 10.06.05, Бюл. № 16.
4. Патент 2253801 России. Вихревая топка / К.А. Григорьев, В.Е. Скудицкий, Ю.А. Рундыгин [и др.]. – Оpubл. 10.06.05, Бюл. № 16.
5. Григорьев К.А., Скудицкий В.Е., Аношин Р.Г. [и др.]. Опыт применения вихревой низкотемпературной технологии сжигания на котле БКЗ–220–100 / Энергетик, 2009, № 1. – С. 24–26.
6. Аношин Р.Г., Валиев Ф.Р., Григорьев К.А. [и др.]. Опыт ступенчато-вихревого сжигания кузнецкого каменного угля // Сб. докл. IV науч.-практич. конф. "Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка котлов". Челябинск. Россия. 2007. Т. II. С. 116–121.
7. Григорьев К.А., Скудицкий В.Е., Зыкин Ю.В. [и др.]. Опыт низкотемпературного вихревого сжигания различных видов топлива в котле БКЗ–210–13,8 Кировской ТЭЦ–4 // Электрические станции. 2010. № 4. С. 9–13.
8. Скудицкий В.Е., Аношин Р.Г., Рундыгин Ю.А., Михайлов В.В., Рыжиков Н.В., Григорьев К.А. Решение проблем сжигания углей Канско-Ачинского бассейна в котле П-49 блока 500 МВт Назаровской ГРЭС // Электрические станции. 2017. № 2. С. 23–28.
9. Шмакова Л.А., Семенов Н.А., Кузнецова О.П., Микула В.А. Выбор схем воздухонагревательной установки для ПГУ–ВЦГ // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945–

2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 430-433.

УДК 620.91

**С. А. Щукин, Н. Б. Лошкарев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

### **Аннотация**

*В работе рассмотрены конструкция камерной электропечи с выдвижным подом, а также принцип нагрева сварных изделий. Представлены результаты расчета тепловых характеристик вентиляторов, а также теплового баланса камерной электропечи с принудительной вертикальной циркуляцией теплового потока. В ходе работы проведены исследования траекторий движений потоков воздуха в рабочем пространстве печи при вертикальном и горизонтальном расположении вентиляторов. Выполнен анализ наиболее оптимального расположения вентиляторов для обеспечения более равномерного распределения тепловых потоков внутри рабочего пространства камерной печи сопротивления. Расчет газодинамики выполнен с использованием универсального программного продукта ANSYS Fluent, имеющего широкий спектр возможностей моделирования течений жидкости и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена и химических реакций.*

**Ключевые слова:** камерная электропечь, принудительная циркуляция, компьютерное моделирование, тепловой баланс.

### **Abstract**

*The paper considers the design of a chamber electric furnace with a retractable hearth, as well as the principle of heating welded products. The results of the calculation of the thermal characteristics of the fan and the heat balance of the chamber furnaces with forced circulation vertical heat flux. In the course of the work, the trajectories of air flows in the working space of the furnace with vertical and horizontal arrangement of fans were investigated. The analysis of the most optimal location of the fans to ensure a more uniform distribution of heat flows inside the working space of the chamber resistance furnace. Gas dynamics calculation is performed using the universal software ANSYS Fluent, which has a wide range of possibilities for modeling fluid flows for industrial applications, taking into account turbulence, heat transfer and chemical reactions.*

**Key words:** chamber electric furnace, forced circulation, computer modeling, thermal balance.

Для изменения структуры и свойств стальных изделий применяется термическая обработка. Зачастую термообработка оказывает решающее влияние на качество и стоимость изделий, в связи с чем необходимо контролировать данный процесс с максимальной точностью.

Существующая на заводе АО "Уралтрансмаш" камерная электропечь с выдвижным подом применяется для нагрева сварных конструкций с целью снятия поля остаточных напряжений в зоне соединения частей изделий (рис. 1). Процесс